|  |  |
| --- | --- |
| 実験項目 | 実験B６　トランジスタ増幅器の製作 |
| 校名　科名  学年　番号 | 熊本高等専門学校　　　人間情報システム工学科  3年　　　　　　　　　　 　42号 |
| 氏名 | 山口惺司 |
| 班名　回数 | 4班　　　　　　　　　　　　　1回目 |
| 実験年月日  建物　部屋名 | 2023年　10月　5,12日　木曜　天候 晴  3号棟　　　1階　HI演習室 |
| 共同実験者名 |  |

# 実験目的

簡単なトランジスタ増幅器の設計・製作と、その回路の特性を測定することによって、増幅器の概念を学び、併せてトランジスタについて理解を深める。

# 実験原理

## 増幅回路の直流電圧・電流について

図１に、エミッタ設置増幅回路の回路図を記載する。

ダイアグラム, 概略図

自動的に生成された説明

図１ エミッタ設置増幅回路

1. トランジスタについて、コレクタに流れる電流をIC、ベースに流れる電流をIB,エミッタに流れる電流をIEとすると、

IE = IB + IC [A] (1)

という関係式が成立する。

1. ベースの直流電位VB(ベースバイアス電圧)は、IBをきわめて小さいとして無視すると、

**(2)**

また、

𝑉𝐵 = 𝐼𝐸 ∙ 𝑅𝐸 + 𝑉𝐵𝐸 [V] **(3)**

である。ベース電流はきわめて小さいのでIC = IEとすると

𝑉𝐵 = 𝐼𝐶 ∙ 𝑅𝐸 + 𝑉𝐵𝐸 [V] **(4)**

1. エミッタの直流電位VEはVBよりもVBEだけ低い値なので

𝑉𝐸 = 𝑉𝐵 − 𝑉𝐵𝐸 [V] **(5)**

これは、(2)式からもわかる。

1. コレクタの電融電位VCは、電源電圧VCCからRCによる電圧降下を引いた値なので、

𝑉𝐶 = 𝑉𝐶𝐶 − 𝐼𝐶 ∙ 𝑅𝐶 [V] **(6)**

また、IC = IEより、

𝑉𝐶 = 𝑉𝐶𝐸 + 𝐼𝐶 ∙ 𝑅𝐸 [V] **(7)**

と表すことができる。

## 電圧増幅度〔交流利得〕について

1. 交流入力電圧viとエミッタ交流電流ieの関係は、ベース-エミッタ間にバイアス電圧VBが順方向に加わっているため、見かけ上抵抗ゼロとなり、viがそのままエミッタに現れるので、

[A] (8)

1. コレクタ電圧の交流分をvc、コレクタ電流の交流分をicとすると、

[V] (9)

ここでなので

[V] (10)

1. 交流出力電圧voは、直流カットコンデンサ(カップリングコンデンサ)C2をとおしてvoと接続されている。よって、vcがそのままvoとして出力されるので

[V] (11)

1. 電圧増幅度AVは、

[倍] (12)

となり、REとRCの比で表されることがわかる。

一般的に、交流利得Gvは、

[dB] (13)

のように、単位をデシベルで表示する。

ただし、この回路に負荷を接続する場合、きわめてインピーダンスの大きい場合に限り(12), (13)式が成り立つことに注意。

# 実験回路

図2はエミッタ設置の増幅器である。ブレッドボード上にこの回路を組む。

表１は回路用の機材である．入力，出力はオシロスコープで測定する．

ダイアグラム, 概略図

自動的に生成された説明

図２　エミッタ設置トランジスタ増幅器

表１　使用器具

|  |  |
| --- | --- |
| Vcc | 直流安定化電源18-1.8 |
| トランジスタ | 前回の実験で使用したもの |
| 抵抗・コンデンサ | 設計値の近似値をしようする |
| ブレッドボード | このボード上に回路を組む |
| ジャンプワイヤ | 結線用 |
| デジタルマルチメータ | 各部の電圧測定用 |
| 入力vi | 低周波発振器 |
| 出力vo | オシロスコープで測定 |

# 実験内容

## 回路設計の手順

1. 電源電圧VCCとVCEの決定

Vcc は 14V とし，トランジスタのコレクタ-エミッタ間電圧 VCE を Vcc の 3/7 と する．（6V）

1. ベース電流 IB とコレクタ電流 Ic(IE)の決定 IB は 30μA とし，IB が 30μA のときの Ic を設定する．(B5 静特性の表参照)
2. VBE の決定 静特性において，IB が 30μA のときの VBE を設定する．(B5 静特性の表参照)

### 直流負荷抵抗（RC+RE）の決定

𝑉𝐶𝐶 = 𝐼𝐶 ∙ 𝑅𝐶 + 𝑉𝐶𝐸 + 𝐼𝐸 ∙ 𝑅𝐸 [𝑉] (14) より，

[Ω] (15)

ここで，回路の安定性を保つための適切な電流帰還量を考えた場合， RC と RE の比を 5：1 にするとよい結果が得られる．

𝑅𝐶: 𝑅𝐸 = 5: 1

[Ω] (16)

(12)，(13)式から，この回路の利得は 5 倍（14dB）となる．

### RA,RBの決定

(3)式より，ベースバイアス電圧 VB を求める．

ベースバイアス抵抗 RB には，普通 IB の 10 倍のバイアス電流を流すので，

[Ω] (17)

[Ω] (18)

### C1，C2 の決定

まず，カットオフ周波数𝑓𝐶𝐿を 100Hz とする．

C1 は，トランジスタの IB が極めて小さいので入力インピーダンスが無限大と すれば，C1 より見た入力インピーダンスは RA と RB の並列とみなせるので，

カットオフ周波数（振幅特性が， 1 √2 (−3dB)）を𝑓𝐶𝐿とすると

[F] (19)

となる．

C2 は，負荷端に接続するインピーダンスによって変化するので実験では C1 と おなじ値にしておく．

ただし，負荷にインピーダンスを ZL[Ω]を接続したら

[F] (20)

となる。

## 利得の変更

回路利得をもっと大きくしたい場合，図2 のように RE を RE1，RE2 に分割し，RE2 に並列にコンデンサを入れて交流分をバイパスすると

(12)式は，

[倍] (21)

となり利得が大きくなる．これで RE の分割比を変えることにより利得が自由に設 定できることがわかる．このコンデンサ CE をバイパスコンデンサという．

[F] (22)

このとき,

(23)

(24)

とする。

ダイアグラム

自動的に生成された説明

図3　エミッタ設置のトランジスタ静特性

# 実験結果

## 回路設計

4.1より、回路で扱う各素子の計算値と実測値を表２に示す。

また、今回の実験では利得が7倍になるようにした。

表２　各素子の計算値と実測値

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 素子名 | 計算値 | 実測値 |
| RA | 36.4kΩ | 36.0kΩ |
| RB | 6.7kΩ | 6.49kΩ |
| RC | 1167Ω | 1091Ω |
| RE1 | 168Ω | 160Ω |
| RE2 | 65Ω | 62.6Ω |
| C1 | 0.28μF | 0.34μF |
| C2 | 0.28μF | 0.34μF |
| C3 | 47μF | 107.8μF |

## 電圧・電流の測定

テスターを用い増幅器各部の直流電圧を測定し、表３に示す。

表３　各部の電圧と電流

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 設定値 | 測定値 | 誤差[%] |
| VC[V] | 7.46 | 7.60 | 1.9 |
| VB[V] | 2.00 | 1.96 | 2.0 |
| VE[V] | 1.30 | 1.31 | 0.8 |
| VCE[V] | 6.00 | 6.31 | 5.2 |
| VBE[V] | 0.69 | 0.67 | 2.9 |
| IC[mA] | 5.60 | 5.85 | 4.5 |

## 増幅度の測定

図２の測定回路で増幅度を計測し、表４に示す。

表４　増幅度(電圧利得)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 周波数 | Vi[Vp-p] | Vo[Vp-p](測定) | Gv[dB](測定) | Gv[dB](設定) | 誤差[%] |
| 1kHz | 0.50 | 3.30 | 16.39 | 16.90 | 3.01 |
| fCL | 0.50 | 2.15 | 12.70 | 13.90 | 8.63 |

## 入出力特性の測定(入出力直線性の測定)

図2 の測定回路を用いて表5 を完成し，グラフを図４に示す．

入力電圧の周波数を 𝑓 = 1𝑘𝐻𝑧とし出力が飽和するまで測定する．

入出力特性は方眼紙に記入し横軸を入力電圧，縦軸を出力電圧とする．

表５ 入出力特性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Vi(Vp-p) | Vo(Vp-p) | Gv(dB) |
| 0.1 | 0.55 | 14.81 |
| 0.2 | 1.36 | 16.65 |
| 0.3 | 1.88 | 15.94 |
| 0.4 | 2.56 | 16.12 |
| 0.5 | 3.2 | 16.12 |
| 0.7 | 4.48 | 16.12 |
| 1 | 6.56 | 16.34 |
| 1.2 | 7.44 | 15.85 |
| 1.4 | 9.04 | 16.20 |
| 1.5 | 9.6 | 16.12 |
| 1.6 | 10.4 | 16.26 |
| 1.7 | 10.8 | 16.06 |
| 1.8 | 11.4 | 16.03 |
| 1.9 | 12 | 16.01 |
| 2 | 12 | 15.56 |
| 2.5 | 12.4 | 13.91 |
| 3 | 12.4 | 12.33 |

図４　入出力特性のグラフ

## 周波数特性の測定

図２の測定回路を用いて，表６を完成し，グラフを図５に示す．

入力電圧を𝑣𝑖 = 0.5[𝑉𝑝−𝑝]，測定周波数ｆは，1，2，4，7×10n（n=1,2,3,4）Hz とし，100kHz まで測定する．また、10，20Hz は測定しない．

周波数特性は片対数グラフを用いて横軸を周波数，縦軸を利得とする．

表６　周波数特性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 周波数[f] | Vo[Vp-p] | Gv[dB] |
| 40 | 1.08 | 6.69 |
| 70 | 1.58 | 9.99 |
| 100 | 2.16 | 12.71 |
| 200 | 2.74 | 14.78 |
| 400 | 3.04 | 15.68 |
| 700 | 3.08 | 15.79 |
| 1000 | 3.2 | 16.12 |
| 2000 | 3.2 | 16.12 |
| 4000 | 3.2 | 16.12 |
| 7000 | 3.2 | 16.12 |
| 10000 | 3.2 | 16.12 |
| 20000 | 3.2 | 16.12 |
| 40000 | 3.2 | 16.12 |
| 70000 | 3.2 | 16.12 |
| 100000 | 3.2 | 16.12 |

図５　周波数特性のグラフ

# 研究課題

利得を大きくするのにREを分割し、RE2にCEを入れたがRE1とRE2の数値を入れ替えるとどうなるか考察せよ。

実際に実験で使用した素子の値を基に計算すると、

[倍]

RE1とRE2を入れ替えて計算すると、

[倍]

となり、利得が大きくなることがわかる。

# 感想

回路の設計や計算から、各素子の値を求め、正しい素子を使うことができて良かった。

トランジスタ増幅器の回路の仕組みを理解できてよかった。